

Ideas para el aula

REACCIONES NUCLEARES Y RADIOACTIVIDAD: UN ABORDAJE POSIBLE DESDE EL ENFOQUE DEL APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS

Valeria Edelsztein^{1,2}, Dora Castellsaguer³

1-Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias (CEFIEC), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires (UBA), Buenos Aires, Argentina.

2-Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina. 3-Cátedra de Química. Instituto Jesús en el Huerto de los Olivos, Buenos Aires, Argentina.

E-mail: valecaroedel@yahoo.com

Recibido: 16/03/2020. Aceptado 04/05/2020.

Resumen. En este artículo se plantea la utilización de la estrategia didáctica del aprendizaje basado en problemas para la enseñanza del tema "reacciones nucleares y radiactividad", uno de los contenidos básicos de química en la escuela secundaria. En el diseño de las actividades se utilizó un episodio de la historia de la ciencia para contextualizar el contenido y se tuvieron en cuenta la naturaleza abstracta del fenómeno de la radiactividad, el formalismo matemático necesario para su descripción y su repercusión en la sociedad. La experiencia se llevó a cabo en una escuela secundaria con un grupo de estudiantes de 17 años y se evaluó en función de ocho parámetros relacionados con la capacidad argumentativa, la apropiación de conocimientos, las competencias adquiridas en términos de comunicación y la motivación.

Palabras clave. radiactividad, aprendizaje basado en problemas, escuela secundaria, desarrollo por competencias

Nuclear reactions and radioactivity: a didactic proposal from the Problem-Based Learning approach

Abstract. This article poses the use of the Problem-Based Learning didactic approach for teaching the topic "nuclear reactions and radioactivity", one of the basic contents of chemistry in high school. In the design of the activities, an episode from the history of science was used to contextualize the content and the abstract nature of the phenomenon of radioactivity, the mathematical formalism necessary for its description and its impact on society were taken into account. The experience was implemented in a high school class of 17 years old students and it was evaluated based on eight parameters related to argumentative abilities, appropriation of knowledge, acquired skills in terms of communication and motivation.

Key words. Radioactivity, Problem-Based Learning, high school, competence development

INTRODUCCIÓN

Desde la didáctica de las ciencias, se considera que el conocimiento acerca de la naturaleza de la ciencia es uno de los componentes fundamentales de la alfabetización científica general (Adúriz-Bravo, Izquierdo-Aymerich y Estany, 2002). Por lo tanto, el ideal de enseñanza es acercar al estudiante a una concepción epistemológica y socio-histórica de la ciencia en el marco de desarrollos teóricos actuales, con el objetivo de generar una actitud crítica (Duschl, 1995; Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009; Henao García, 2013).

Sin embargo, los métodos tradicionales de enseñanza de la química se basan predominantemente en exposiciones orales por parte del docente hacia alumnos que las reciben de manera pasiva pese a que, como señalan Pantoja Castro y Covarrubias Papahiu (2013), existen experiencias aisladas de profesores que hacen uso de estrategias didácticas diferentes a las tradicionales para promover la comprensión y aplicación de los contenidos disciplinarios de algunas asignaturas.

En este sentido, el enfoque del Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) podría aportar una perspectiva innovadora para la enseñanza de la química. Se trata de un método de aprendizaje que utiliza problemas como punto de partida para la adquisición e integración de nuevos conocimientos y promueve el aprendizaje autodirigido (Barrows, 1986; Ocelli y Abad, 2010; Colorado Ordóñez y Gutiérrez Gamboa, 2016).

Surgió a partir del método de estudio de casos utilizado en la Escuela de Leyes de Harvard, el cual se basa en la cooperación entre pequeños grupos de alumnos en forma interdependiente y en donde el eje del trabajo es una situación problemática (Urrutia, Hamui-Sutton, Castañeda, Fortoul van der Goes y Guevara, 2011).

Desde este enfoque, los problemas necesitan ser complejos, abiertos, realistas, multidisciplinarios y resonantes con las experiencias de los estudiantes para permitir su motivación intrínseca (Ocelli y Abad, 2010). Deben estar pensados para demandar que los alumnos realicen una búsqueda de información que les permita aprender aspectos teóricos y prácticos y desarrollar ciertas competencias, ineludibles para la construcción de la solución. De esta manera, en el enfoque ABP, el aprendizaje está centrado en los alumnos, quienes participan de forma activa y cooperativa, mientras que los docentes actúan como facilitadores o guías de apoyo en la selección de la información necesaria para resolver el problema (Barrows, 1986). Así, se corre el centro de la actividad educativa, de la instrucción a las experiencias de aprendizaje, para la consecución de objetivos enmarcados en un contexto de colaboración, de relevancia, de autodirección, de mejora continua, de uso de tecnologías recientes y de formación integral (Góngora, 2005). Esta metodología es

aplicable en todos los niveles de enseñanza posibilitando la integración y comprensión de conocimientos de diferentes áreas.

En este trabajo se propone un abordaje desde el enfoque de ABP para la enseñanza-aprendizaje del tema *reacciones nucleares y radiactividad*. Fue implementado en una institución secundaria pública de gestión privada, en la que los alumnos muestran poca motivación por el aprendizaje en ciencias.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una de las principales dificultades que presenta la enseñanza de la *radiactividad* en el bachillerato, al igual que ocurre con muchos de los contenidos antes de que sean impartidos en las clases, es que los alumnos tienen ideas previas o concepciones alternativas, en ocasiones científicamente erróneas, que influyen decisivamente en el proceso de enseñanza-aprendizaje (Linjse, Eijkelhof, Klaassen y Scholte, 1990; Boyes y Stanisstreet, 1994; Plotz, 2016; Lavín Puente y Minguez San José, 2017). Se ha observado, por ejemplo, que a aquellos estudiantes con fuertes concepciones alternativas sobre el tema se les dificulta apropiarse correctamente de nuevos conceptos e, incluso, readecúan la nueva información para incorporarla a sus modelos mentales científicamente erróneos (Henriksen y Jorde, 2001). Incluso, ciertas ideas científicamente erróneas persisten hacia los primeros años de la universidad (Tsaparlis, Hartzavalos y Nakiboğlu, 2013).

Por otra parte, los estudiantes se enfrentan con serias dificultades conceptuales (Millar, 1994; Prather, 2005). Por ejemplo, los conceptos de *serie radiactiva*, *tiempo de vida media* y *estabilidad nuclear* les resultan abstractos y no pueden vincularlos a otros conceptos relacionados con su cotidianidad, como por ejemplo su uso en prácticas médicas (Nakiboğlu y Tekin, 2006).

Por tal motivo, el uso del enfoque ABP se presenta como una alternativa de interés para un acercamiento novedoso y motivador a la temática.

En esta propuesta didáctica, se trabajó sobre una problemática que tuvo lugar durante las primeras décadas del siglo XX, cuando mujeres jóvenes con necesidades económicas fueron empleadas en la compañía *United States Radium Corporation*. Allí, su tarea era pintar diales luminosos para relojes usando una pintura que contenía radio y brillaba en la oscuridad. Dado que era importante tener un trazo preciso, las trabajadoras chupaban los pinceles para afinar las puntas y, de esta manera, ingerían la pintura radiactiva. Sus condiciones laborales no contemplaban ningún tipo de cuidado de la salud y, al cabo de pocos años, se detectó que un gran número de trabajadoras sufrían distintas enfermedades, entre ellas cáncer óseo que, en muchos casos, las llevó a la muerte (Ferrer Valero, 2019). Gracias a un grupo que decidió llevar adelante juicios contra la

compañía, las condiciones laborales estadounidenses mejoraron y se crearon normas de seguridad industrial (Octavio Alonso, s/n).

Dado que uno de los objetivos de la metodología ABP es promover debates científicos en las aulas (Alozie, Moje y Krajcik, 2010), parte de la propuesta incluyó una discusión argumentativa sobre el caso.

OBJETIVO DEL TRABAJO

El objetivo de este trabajo fue el desarrollo de una secuencia didáctica desde el enfoque de ABP para la enseñanza del tema *reacciones nucleares y radiactividad* orientada a mejorar la instrucción científica en el nivel medio con respecto a la enseñanza en ciencias tradicional y su implementación con un grupo de alumnos para evaluar su efectividad. También se buscó detectar las dificultades y ventajas que presentaría la incorporación de este enfoque en la estructura curricular institucional.

PROPUESTA

La propuesta didáctica se implementó con un grupo de 14 estudiantes de 17 años de edad que cursaban 6° año de una escuela secundaria pública de gestión privada de la Provincia de Buenos Aires. A este grupo se le aplicó la metodología ABP durante ocho clases de 80 minutos cada una para la enseñanza del tema *radiactividad y reacciones nucleares*.

La propuesta didáctica se dividió en cuatro fases:

- *Fase I. Presentación del tema mediante el problema en contexto.* En primer lugar, se abordó el tema mediante un video en el que se presentó la historia de las trabajadoras la compañía *United States Radium Corporation*. Es en esta fase en donde se comenzó a indagar sobre los saberes previos o conceptos alternativos de los estudiantes.
- *Fase II. Discusión y presentación de conceptos.* Luego de ver el video se les solicitó a los estudiantes que realizaran un análisis de la situación. Para ello, debieron involucrarse en el caso e investigar para poder discutir con argumentos. Durante esta fase, la docente intervino para organizar y seleccionar actividades, aclarar dudas conceptuales y organizar al grupo para llevar adelante sus exposiciones. En esta fase se presentaron los conceptos necesarios para el desarrollo del tema *radiactividad y reacciones nucleares* que, luego, se profundizó en la Fase III.
- *Fase III. Exploración en grupos.* En la tercera fase, los alumnos se dividieron en grupos. Cada grupo abordó una problemática diferente relacionada con la temática de *radiactividad y reacciones nucleares* que, en la Fase IV, fue explicada al resto de sus compañeros (ver Tabla 1). Para el desarrollo del tema los

alumnos utilizaron cuatro clases en donde contaron con computadoras, servicio de internet y material bibliográfico adecuado. En esta etapa, se trabajó junto con las profesoras de matemática y la coordinadora del departamento de exactas. Durante las clases los alumnos fueron evaluados por la docente.

- *Fase IV. Cierre del proyecto.* En las clases sucesivas, cada grupo realizó las exposiciones de sus temáticas para sus compañeros y también para un grupo de 25 estudiantes de 14 a 15 años del mismo colegio. Se utilizó material gráfico, como pósteres y presentaciones con diapositivas, que ellos mismos confeccionaron. Además, entregaron un trabajo monográfico con los temas investigados en los cuales debían incluir la bibliografía utilizada, reflejando así el proceso investigativo llevado a cabo por cada grupo.

Tabla 1. Ejemplos de problemáticas desarrolladas por los grupos durante la Fase II.

Grupo 1	La comisión Nacional de Energía atómica (CNEA) desarrolla un gran número de aplicaciones de los isótopos radiactivos. Visiten la página web de la CNEA e investiguen acerca de cuáles son las aplicaciones médicas referidas al diagnóstico y tratamiento de enfermedades. Busquen información sobre los problemas de salud que sufrieron las operarias de la <i>United States Radium Corporation</i> . Establezcan una relación entre ambos fenómenos. ¿Cómo podrían vincularlos?
Grupo 2	Algunos insectos, como la mosca de la fruta, se reproducen solo sexualmente. Considerando esto, se desarrolló un método de control de plagas cuyo fundamento es la irradiación de larvas de estas especies para que los machos sean estériles. Cuando estos son liberados en las áreas seleccionadas, la fecundación es inviable y esto disminuye drásticamente la población por varias generaciones. ¿Cuáles son las razones por las que este método se considera más amigable con el ambiente que el uso de insecticidas? ¿Cómo podrían vincular la exposición a la radiación con la infertilidad? ¿Y con las enfermedades que desarrollaron las operarias de la <i>United States Radium Corporation</i> ?

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LA PROPUESTA

A lo largo de la propuesta, se emplearon varios instrumentos para valorar los conocimientos sobre la disciplina mostrados por los alumnos y, también, sus actitudes y valores hacia la nueva temática. Esta variedad de instrumentos permitió integrar varias dimensiones como el aprendizaje, la motivación y el trabajo en equipo (Bisquerra, 1996; Stake, 1999; Pantoja Castro y Covarrubias Papahiu, 2013).

Durante la investigación, se contemplaron evaluaciones cualitativas basadas en las observaciones que los docentes intervinientes realizaron

durante las clases. También se registraron las exposiciones orales de los alumnos y se evaluaron las monografías que los alumnos presentaron al finalizar la secuencia didáctica. Los registros fueron escritos y por grabaciones de audio.

Para la evaluación del éxito de la propuesta didáctica se tomó en cuenta el desempeño individual y colectivo de los alumnos durante todo el proceso en función de los siguientes ocho parámetros:

- a. *Actitud crítica.* Análisis del progreso en función de los comentarios de los estudiantes antes y después de la presentación del video y a lo largo del trabajo grupal.
- b. *Argumentación.* Evaluación de la mejora en la habilidad argumentativa de los estudiantes con el progreso de la unidad didáctica. Capacidad de fundamentar sólidamente sus exposiciones y distinguir hechos de opiniones.
- c. *Contenidos.* Análisis del desempeño de los alumnos registrado durante las clases y su capacidad de incorporar y utilizar los contenidos trabajados para aplicarlos a la situación problemática.
- d. *Comunicación entre pares.* Evaluación de la comunicación entre pares y la capacidad de llevar a cabo un trabajo colaborativo, lidiar con desacuerdos y arribar a conclusiones coherentes y en consenso.
- e. *Motivación.* Registro de la actitud hacia la materia y la motivación por investigar y apropiarse de los conocimientos por parte de los estudiantes.
- f. *Diseño de trabajo.* Análisis de la exposición de los alumnos. Evaluación de los pósteres y las presentaciones con diapositivas en función de su distribución de contenidos y coherencia.
- g. *Comunicación de resultados.* Riqueza y especificidad del vocabulario utilizado por los alumnos en las clases expositivas, su poder de síntesis y la habilidad para comunicar los conocimientos adquiridos a otros grupos de alumnos. Evaluación de la calidad y claridad de las explicaciones durante la exposición oral.
- h. *Escritura.* Evaluación de los trabajos monográficos entregados por los distintos grupos según el dominio del tema, la claridad de la escritura, el análisis y búsqueda de datos y la bibliografía presentada.

Estos resultados se compararon con aquellos obtenidos en otros temas de la misma materia, en donde no se aplicó la metodología de ABP (San Martín Cantero, 2014). Para cada parámetro evaluado se determinó si se registraban o no mejoras en el desempeño de los estudiantes con

respecto a los métodos tradicionales de enseñanza (MTE). En todos los casos se observaron mejoras en los estudiantes: notables en cuanto a la argumentación, la motivación, la comunicación entre pares y la actitud crítica; más leve en relación a los contenidos y al aspecto comunicacional de la investigación grupal, tanto oral como escrita. Esta clasificación fue realizada por la docente a cargo del grupo y se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Evaluación comparativa del progreso de los estudiantes.

	Sin mejora respecto a MTE	Leve mejora con respecto a MTE	Mejora notable con respecto a MTE
Actitud crítica			x
Argumentación			x
Contenidos		X	
Comunicación entre pares			x
Motivación			x
Diseño de trabajo		x	
Comunicación de resultados		x	
Escritura		x	

En la Fase I de la actividad quedó en evidencia que la mayoría de los estudiantes desconocían qué es un elemento radiactivo y los efectos de la exposición prolongada a la radiación, como así también los acontecimientos históricos relacionados con la temática. En general, se observó que habían oído acerca del accidente ocurrido en Chernobyl, pero carecían de información concreta. Por otra parte, al indagarse sobre los rayos X y su uso en medicina nuclear, se evidenció nulo conocimiento al respecto.

Durante el desarrollo de la propuesta didáctica, los estudiantes incorporaron conocimientos relacionados a qué es un elemento radiactivo, tipos de radiación, desintegración radiactiva, datación con carbono-14, aplicaciones de la radiactividad en el área de salud y alimentos, entre otros conceptos. El manejo de los contenidos se hizo explícito no solamente en las exposiciones orales sino también en los pósteres presentados y se reflejó en los trabajos monográficos.

A modo de ejemplo, se mencionan a continuación algunos extractos de las exposiciones orales de los estudiantes que también se vieron reflejadas en las monografías escritas:

- *“La CNEA desarrolla nuevas aplicaciones para la medicina nuclear. La radiación ayuda un montón en lo médico porque da diagnostico antes de que se presenten síntomas en los pacientes. Es solo necesario tomar un líquido o una inyección*

(...) y después te da un diagnóstico completo que ayuda a prevenir enfermedades o curarlas antes de que ya sean graves. (...) Los desechos de esta actividad pueden ser muy dañinos tanto para el medio ambiente como para la salud de las personas. Por eso, hay que tener un buen control y gestión de los residuos que se desechan. Depende de la vida media y de las propiedades químicas y físicas de los elementos. Los que tienen tiempos de vida media larga son los más dañinos. (...) Para finalizar y relacionar con lo que pasó con las chicas del radio, si te exponés tiempos prolongados a radio-226 como las chicas en la fábrica, puede pasar que la radiación gamma penetre tu cuerpo y dañe células somáticas". (Grupo 1).

- *"Los rayos gamma son de alto nivel de energía (...) una radiación ionizante y penetran mucho más la materia que la radiación alfa y beta; afectan un montón a las células (...) (...) Se usan rayos gamma para irradiar a las moscas de la fruta. Lo que hacen es agarrar todas las larvas, que crezcan, se alimenten y las someten a radiación gamma. Esta hace que cuando sean adultas sean estériles (...) y, a medida que pasan las generaciones, disminuye la especie amenazante. (...) Respecto de la comparación con las mujeres del radio, (...) estas moscas sufrieron una menor exposición a la radiación que las mujeres. Cuando ellas ingerían radio, la radiación afectaba a los átomos y a las moléculas y al afectarlas... en el cuerpo tenemos estructuras muy complejas y cuando esas estructuras son modificadas, nuestro cuerpo sufre enfermedades, deformaciones o infertilidad". (Grupo 2).*

Las monografías le permitieron a la docente evaluar y comparar el resultado frente a otros trabajos en los que no se utilizó la metodología del ABP. La evaluación llevada a cabo fue del tipo formativa, centrada en la incorporación reflexiva de nuevos conocimientos con respecto a la temática.

Se observó una mejoría notable en cuanto al desarrollo y comunicación del tema como así también la capacidad argumentativa, comparado con la enseñanza tradicional. En particular, esto se hizo evidente durante las exposiciones orales en donde cada grupo, al tomar un rol protagónico, pudo apropiarse en forma significativa de los nuevos conocimientos reemplazando así al sistema memorístico tradicional. Las discusiones entre los grupos ayudaron a mejorar la dinámica expositiva y la presentación de los trabajos.

Adicionalmente, fue notable el cambio de actitud de los estudiantes. Mostraron motivación por investigar la situación problemática asignada y un fuerte compromiso durante el proceso, algo poco habitual en este grupo de alumnos, con escaso interés por la materia.

Para poder llevar a cabo de manera efectiva las exposiciones, los estudiantes debieron adaptar los contenidos y así poder explicarlos a un grupo de alumnos de 14-15 años atendiendo al contexto histórico e integrando conocimientos físico-matemáticos de manera transversal. Esto último fue especialmente importante al discutir las curvas de decaimiento radiactivo.

CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó el desarrollo de una propuesta didáctica desde el enfoque de ABP para la enseñanza-aprendizaje del tema *reacciones nucleares y radiactividad*. Se implementó con un grupo de 14 estudiantes del último año de una escuela secundaria pública de gestión privada. En comparación con enfoques tradicionales de enseñanza, se observaron mejoras actitudinales, en el desarrollo de competencias y en la apropiación de contenido por parte de los alumnos, posicionándose como un abordaje prometedor para la enseñanza de la química, una disciplina que requiere cierto grado de abstracción para su comprensión (Pantoja Castro y Covarrubias Papahiu, 2013).

La implementación del ABP como estrategia didáctica originó una actitud positiva en los estudiantes, propiciando la motivación y, por lo tanto, la necesidad de apropiarse de nuevos conocimientos (Otero, 2006; Marbà y Márquez, 2010; Mellado, 2014; Marchán-Carvajal y Sanmartí, 2015; Carrió y Costa, 2017). Esto se evidenció a partir del registro en clases y los trabajos de investigación presentados.

Por otra parte, también se observó una actitud crítica y reflexiva hacia la temática por parte de los estudiantes, competencia deseable de desarrollar durante el proceso de aprendizaje. Es importante destacar que, para poder generar esta mirada crítica con respecto a los temas de ciencias en el aula, la escuela debe fomentar el trabajo interdisciplinario. La metodología ABP presenta una buena oportunidad para ello ya que estimula la comunicación entre pares y trabaja temáticas transversalmente permitiendo la participación de diversos docentes de otras disciplinas. En este caso, la principal dificultad encontrada fue, justamente, la organización del trabajo interdisciplinar acorde a los tiempos disponibles de cada docente.

Pese a las dificultades organizativas, en este trabajo se muestra que la implementación de alternativas pedagógicas fundadas en ejes problematizados para la enseñanza de la química es posible sin realizar modificaciones curriculares en la organización de asignaturas y contenidos. Este abordaje admite la incorporación de otras estrategias, como el estudio de casos y el método por proyectos, lo cual permite explorar a través de la investigación-acción, fomentando la mejora continua de la práctica docente y, por ende, los beneficios educativos para los estudiantes (González Frías y Castro López, 2011).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adúriz-Bravo, A., Izquierdo-Aymerich, M. y Estany, A. (2002). Una propuesta para estructurar la enseñanza de la filosofía de la ciencia para el profesorado de ciencias en formación. *Enseñanza de las ciencias*, 20(3), 465-476.
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales, *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4, 40-49.
- Alozie, N. M., Moje, E. B. y Krajcik, J. S. (2010). An analysis of the supports and constraints for scientific discussion in high school project-based science. *Science Education*, 94(3), 395-427.
- Barrows, H. (1986). A taxonomy of problem-based learning methods, *Medical Education*, 20, 481-486.
- Boyes, E. y Stanisstreet, M. (1994). Children's ideas about radioactivity and radiation: sources, mode of travel, uses and dangers. *Research in Science y Technological Education*, 12(2), 145-160.
- Carrió, M. y Costa, M. (2017). ¡Ha desaparecido un ratón! ¿Nos ayudáis a buscar al culpable? Análisis del impacto didáctico y emocional de un encargo ficticio. *Enseñanza de las ciencias*, 35 (3), 151-173.
- Colorado Ordóñez, P. y Gutiérrez Gamboa, L. A. (2016). Estrategias didácticas para la enseñanza de las ciencias naturales en la educación Superior. *Revista Logos, Ciencia y Tecnología*, 8 (1) ,148-158.
- Duschl, R. A. (1995). Más allá del conocimiento: los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante el cambio conceptual. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 13(1), 3-14.
- Ferrer Valero, S. (2019). Las chicas del radio: una historia de injusticia laboral. *Clío: Revista de historia*, (209), 46-49.
- Góngora, J. J. (2005). La autogestión del aprendizaje en ambientes educativos basados en el alumno. *Boletín del Modelos Educativo, Tecnología de Monterrey*, 9,3: Recuperado el 16 de marzo de 2020, de <http://sitios.itesm.mx/va/dide2/documentos/autogestion.pdf>.
- González Frías, M. T. y Castro López, A. (2011). Impacto del ABP en el Desarrollo de la Habilidad para Formular Preguntas de Aprendizaje en Estudiantes Universitarios. *REDU Revista de Docencia Universitaria*, 9 (1), 57-65. Recuperado el 16 de marzo de 2020, de <http://redaberta.usc.es/redu/index.php/REDU>
- Henao García, J. J. (2013). *Enseñanza y aprendizaje del concepto naturaleza de la materia mediante el aprendizaje basado en problemas*.

Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Manizales, Manizales, Colombia.

- Henriksen, E. K. y Jorde, D. (2001). High School Students' Understanding of Radiation and the Environment: Can Museum Splay a Role? *Science education*, 85 (2), 189-206.
- Lavín Puente, M. C. y Minguez San José, R. (2017). Diseño de actividades para el aprendizaje de la radioactividad en bachillerato. *Tabanque. Revista Pedagógica*, 30, 159-182
- Linjse, P. L., Eijkelhof, H. M. C., Klaassen, C. W. J. M. y Scholte, R. L. J. (1990). Pupils' and mass-media ideas about radioactivity. *International Journal of Science Education*, 12(1), 67-78.
- Marbà, A. y Márquez, C. (2010). ¿Qué opinan los estudiantes de las clases de ciencias? Un estudio transversal de sexto de primaria a cuarto de ESO. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(1), 19-30.
- Marchán-Carvajal, I. y Sanmartí, N. (2015). Criterios para el diseño de unidades didácticas contextualizadas: aplicación al aprendizaje de un modelo teórico para la estructura atómica. *Educación química*, 26(4), 267-274.
- Mellado, V., Borrachero, A. B., Brígido, M., Melo, L. V., Dávila, M. A., Cañada, F., Conde, M. C., Costillo, E., Cubero, J., Esteban, R., Martínez, G., Ruiz, C., Sánchez, J., Garritz, A., Mellado, L., Vázquez, B., Jiménez, R. y Bermejo, M. L. (2014). Las emociones en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 11-36.
- Millar, R. (1994). Students' understanding of key ideas radioactivity and ionizing radiation. *Public Understanding of Science*, 3, 53-30.
- Nakiboğlu, C. y Tekin, B. B. (2006). Identifying students' misconceptions about nuclear chemistry: A study of Turkish high school students. *Journal of Chemical Education*, 83, 1712-1718.
- Occelli, M. E. y Abad, J. V. (2010). Formación de docentes a través de la resolución de un problema biotecnológico en un ambiente de aprendizaje colaborativo mediado por computadoras. *Virtualidad, Educación y Ciencia*, 1(1), 37-49.
- Octavio Alonso, L. L. (s/n). La oscuridad de las brillantes chicas del radio. *Cienciorama*.
- Otero, M. R. (2006). Emociones, sentimientos y razonamientos en Didáctica de las Ciencias. *Revista electrónica de investigación en educación en ciencias*, 1(1), 24-53. Recuperado el 16 de marzo de 2020, de <http://www.exa.unicen.edu.ar/>

- Pantoja Castro, J. C. y Covarrubias Papahiu, P. (2013). La enseñanza de la biología en el bachillerato a partir del aprendizaje basado en problemas. *Perfiles educativos*, 35, (139). Recuperado el 16 de marzo de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-26982013000100007&lng=es&tlng=pt
- Plotz, T. (2016). Students' conceptions about radiation and what to do about them. *Physics Education*, 52 (1).
- Prather, E. (2005). Students' beliefs about the role of atoms in radioactive decay and half-life. *Journal of Geoscience Education*, 53(4), 345–354.
- San Martín Cantero, D. (2014). Teoría fundamentada y Atlas.ti: recursos metodológicos para la investigación educativa. *Revista electrónica de investigación educativa*, 16, (1), 104-122. Recuperado el 16 de marzo de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1607-40412014000100008&lng=es&tlng=es.
- Tsaparlis, G., Hartzavalos, S. y Nakiboğlu, C. (2013). Students' Knowledge of Nuclear Science and Its Connection with Civic Scientific Literacy in Two European Contexts: The Case of Newspaper Articles. *Science y Education*, 22, 1963–1991. Recuperado el 16 de marzo de 2020, de <https://doi.org/10.1007/s11191-013-9578-5>
- Urrutia, M., Hamui-Sutton, A., Castañeda, S., Fortoul van der Goes., T. y Guevara, R. (2011). Impacto del aprendizaje basado en problemas en los procesos cognitivos de los estudiantes de medicina, en *Gaceta Médica de México*, 147, 385-393.